

Biomecánica, patrones funcionales y prótesis de la mano.

Manuel Antonio Ulloa Méndez

Luis García González
Axel Moreno García

Enrique Cruz Medrano Ernesto

29 de agosto de 2022

Resumen

En este documento analizaremos la mano en general. Estamos hablando de su anatomía, su biomecánica, sus movimientos, sus funciones y sus patrones funcionales. Así como información extra, por ejemplo el como esta compuesta, su cantidad de huesos y músculos.

Agregamos una prótesis diseñada por tres ingenieros, la cuál nos llamo mucho la atención y decidimos compartir la nota para poder entender exactamente que se necesita para poder desarrollar una prótesis. Para poder llegar hasta desarrollar una, es necesario poder entender todo lo anterior mencionado al principio del resumen, es por eso que decidimos abarcar distintos temas para el estudio de la mano. Con la información recopilada en este documento, podemos ir aterrizando cada vez más la idea de realizar una prótesis de mano, es posible mientras se tengan los estudios anatómicos y mecánicos correctos.

La mano es la herramienta de herramientas, según aristoteles, es por eso que es una de las prótesis más realizadas en los proyectos de ingeniería. Algo que observamos en la prótesis que agregamos al documento, es como cada vez estas prótesis se apegan más a la realidad, tanto mecánica como estética, es impresionante los resultados que se logran, esto solo nos da una idea de lo que viene en el futuro, pues la meta es poder reemplazar una mano al cien por ciento en cuanto a diseño y funcionalidad. El esqueleto óseo de la mano consiste en ocho huesos carpianos divididos en dos filas: la fila proximal articulada con las porciones distales del radio y el cúbito, a excepción del pisiforme que se encuentra en disposición palmar y se articula con el triquetrum; los cuatros huesos carpales distales están articulados con los cinco metacarpianos. Los 8 huesos carpales interpuestos entre el antebrazo y los huesos metacarpianos forman la compleja articulación de la muñeca.

1. Introducción

La integridad de la macroestructura y la microestructura de la mano combinada con un abundante tejido cerebral, le han conferido al hombre el desarrollo de habilidades y ventajas especiales frente a otras especies. No cabe duda de que la disposición anatómica de la mano es lo que le ha otorgado gran variedad de adaptaciones funcionales en un momento determinado de acuerdo a la necesidad de su ejecutante. Constantemente la mano debe adoptar formas diversas que permiten al ser humano interactuar con su medio externo; posiciones como la concavidad palmar que permite tomar y soltar objetos, movimientos de oposición que proporcionan la pinza y facilitan la manipulación de instrumentos de precisión, y actividades de destreza manual fina. La comunicación mediante el lenguaje corporal también involucra la mano e inclusive, puede ser determinante a la hora de tomar decisiones definitivas en la elección de candidatos en tareas específicas y ¿cuántas veces la mano ha tenido que adoptar la posición de puño y convertirse en herramienta de defensa? La mano, es pues, determinante de la independencia humana, es el “instrumento de los instrumentos” decía Aristóteles y tal como lo expresa Kapandji: “La mano es la extensión del cerebro”. Cuando se estudia la anatomía y se comprende la kinesiólogía de la mano escuando se puede entender la versatilidad instantánea con la que está dotada esta estructura compleja compuesta por veintisiete huesos, más de veinte articulaciones y más de treinta músculos, lo que hace que en un área tan pequeña converjan tejidos blandos y duros al mismo tiempo, explicando el gran compromiso funcional ante lesiones traumáticas de este órgano.

Arquitectura de la mano

El esqueleto óseo de la mano consiste en ocho huesos carpianos divididos en dos filas: la fila proximal articulada con las porciones distales del radio y el cúbito, a excepción del pisiforme que se encuentra en disposición palmar y se articula con el triquetrum; los cuatro huesos carpales distales están articulados con los cinco metacarpianos. Los 8 huesos carpales interpuestos entre el antebrazo y los huesos metacarpianos forman la compleja articulación de la muñeca (Figura No. 1). Las unidades arquitectónicas de la mano se dividen funcionalmente en unidades fijas y unidades móviles. La unidad fija de la mano está constituida por el segundo y el tercer metacarpianos y la fila distal del carpo, su movimiento es muy limitado en las articulaciones intermetacarpianas y en la segunda y tercera articulaciones carpometacarpianas. Los huesos de la fila distal del carpo (trapezium, trapezoide, hamate y capitate) forman un arco transversal estable fijado en virtud de fuertes ligamentos intercarpianos, y el capitate como piedra angular de la configuración del arco de los huesos carpianos. El ligamento volar carpal fija el hamate a las crestas palmares del trapecio para impedir el colapso del arco palmar transversal. Articulando con la fila distal del carpo se proyectan distalmente los cinco metacarpianos. El segundo y el tercer metacarpianos son fijados íntimamente a la fila distal del carpo y juntos forman la unidad fija del esqueleto de la mano. La unidad fija central es la base de soporte de las unidades móviles de la mano y se proyecta distalmente, bajo la influencia de los principales extensores de muñeca (extensor carpi radialis longus y el extensor carpi radialis brevis) y el primer flexor de muñeca, el flexor carpi radialis. Alrededor de esta unidad central se posicionan los elementos adaptativos de movimiento. Las unidades adaptativas de la mano que se mueven alrededor de la unidad central son tres elementos que en orden de importancia constituyen: el rayo del pulgar, el rayo del índice y la unión del tercero, cuarto, y quinto rayos juntos con el cuarto y el quinto metacarpianos.

El rayo del pulgar: Con su metacarpiano y las dos falanges tiene un mayor grado de libertad de movimiento que ninguno de los otros dígitos. La articulación trapeciometacarpiana es una articulación bicóncava, en silla de montar, que permite un amplio rango de movilidad en muchos planos, porque su cápsula articular aunque resistente, es lo suficientemente laxa para permitir un movimiento sustancial. El posicionamiento y la actividad del pulgar están bajo la influencia de cuatro músculos intrínsecos (flexor pollicis brevis, abductor pollicis brevis, aductor pollicis y oponens pollicis), y cuatro músculos extrínsecos (extensor pollicis longus, extensor pollicis brevis, abductor pollicis longus y flexor pollicis longus).

El dedo índice: formado por las tres falanges que se proyectan desde el segundo metacarpiano fijo, bajo la influencia de tres músculos intrínsecos (interóseo palmar, interóseo dorsal, y primer lumbrical) y cuatro músculos extrínsecos (extensor indicis propio, extensor comunis para el índice, flexor digitorum profundus para el índice y flexor digitorum superficialis para el índice). Estos músculos cuentan con relativa independencia en la función del dedo índice comparado con los dedos tercero, cuarto y quinto. Las articulaciones interfalángicas son de tipo troclear y permiten movimientos de flexión y extensión, mientras que la articulación metacarpofalángica (MF) es de tipo condílea, y permite rango de movilidad medial y lateral cuando la articulación se encuentra en extensión [1].

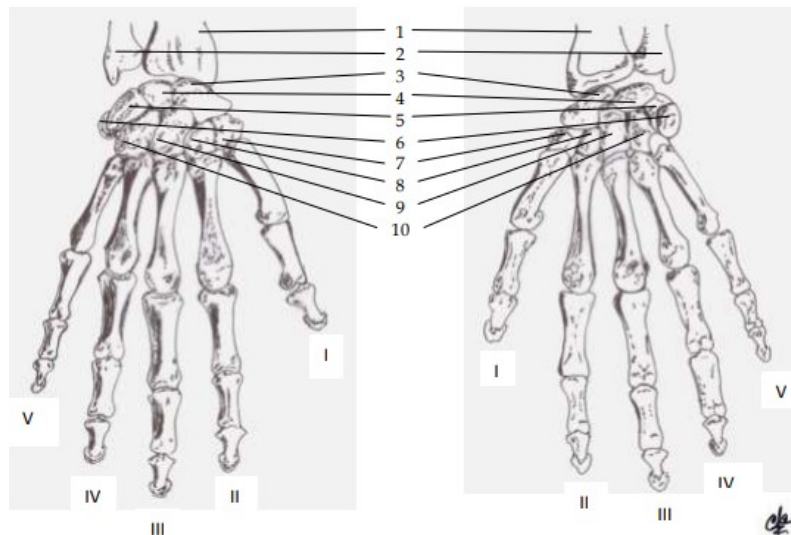


Figura 1: *Figura No. 1. Huesos de la mano. 1. Radio; 2. Cúbito (Ulna); 3. Escafoides; 4. Semilunar (Lunate); 5. Piramidal (Triquetrum); 6. Pisiforme; 7. Trapecio; 8. Trapezoide; 9. Grande (Capitate); 10. Ganchoso (Hamate). I. Pulgar; II. Índice; III. Dedo medio; IV. Anular; V. Meñique.*

Dedos medio, anular y meñique junto con el cuarto y el quinto metacarpianos: Esta unidad del lado ulnar en la función de la mano, se comporta como una prensa estabilizadora para agarrar objetos en la manipulación del pulgar y el dedo índice. Tiene un rango de movimiento aproximado de 30° de flexión y extensión en la articulación entre el hamate y el quinto metacarpiano y aproximadamente la mitad, en la articulación entre el hamate y el cuarto metacarpiano. Este movimiento junto con la capacidad de flexión de las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas del lado cubital, permiten la adaptación para trabajar en concierto con las otras unidades de la mano en la realización de poderosos agarres. En el nivel de las cabezas de los metacarpianos, el arco transversal comienza a adaptarse en virtud del rango de movimiento del primer metacarpiano y de la articulación trapezometacarpiana, y el limitado pero definido rango de movilidad de las articulaciones cuarta y quinta metacarpianas. Cuando el arco transversal de las cabezas de los metacarpianos es llevado hacia adentro, formando medio círculo bajo la influencia de los músculos de la región tenar e hipotenar, el pulgar es colocado pulpejo con pulpejo en oposición con los restantes dígitos (Figura No. 2). Las cabezas del cuarto y quinto metacarpianos están unidas a la unidad central estable de los dos metacarpianos, por medio del ligamento intermetacarpiano, que en realidad sujeta los platos volares de las articulaciones metacarpofalángicas. Cuando las cabezas de los metacarpianos son traccionadas dorsalmente por acción de los tendones extensores extrínsecos con los músculos tenares e hipotenares relajados, el arco transversal metacarpiano es aplanado e incluso puede invertirse.



Figura 2: *Figura No. 2. Arco transversal de las cabezas de los metacarpianos llevado hacia adentro, formando medio círculo bajo la influencia de los músculos de las regiones tenar e hipotenar; el pulgar es colocado pulpejo con pulpejo en oposición con los restantes dígitos.*

La MF de cada uno de los cuatro dedos se mueve medialmente y lateralmente con la articulación en extensión, pero pierde su capacidad cuando la articulación es flexionada (Figura No. 3). Los ligamentos colaterales están laxos con la MF en extensión e hiperextensión, permitiendo la desviación máxima hacia medial y lateral. Cuando la MF está en flexión, el efecto excéntrico colocado en el ligamento y la inclinación de los epicondilos resulta en un ajuste y estricta limitación de la movilidad lateral. La movilidad lateral en la MF es estabilizada en parte por los músculos interóseos.

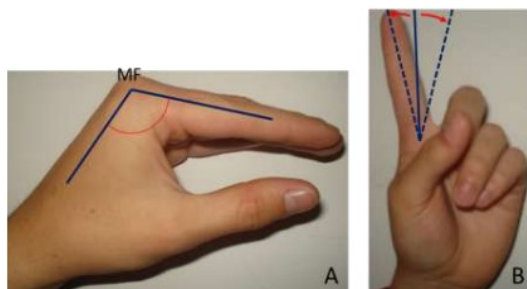


Figura 3: *Figura No. 3. Articulación Metacarpofalángica (MF). A. MF en flexión fijada fuertemente por los ligamentos colaterales lo que impide cualquier movimiento hacia lateral o medial. B. MF en extensión con ligamentos colaterales laxos lo que permite movimientos hacia lateral y medial.*

2. Desarrollo

Manipulación de objetos y adaptaciones posicionales

Para coger objetos, la mano debe adaptar su forma. En una superficie plana la mano se extiende y se aplana contactando la superficie con la eminencia tenar, la eminencia hipotenar, la cabeza de los metacarpianos y la cara palmar de las falanges. Cuando se quiere coger un objeto voluminoso, la mano se ahueca y forma arcos orientados en tres direcciones: en sentido transversal, que corresponde a la concavidad del macizo carpiano y se prolonga hacia abajo mediante el arco metacarpiano; en sentido longitudinal, los arcos carpometacarpofalángicos que están constituidos en cada dedo, por el metacarpiano, y las falanges correspondientes. La concavidad de estos arcos se orienta hacia adelante de la palma y el centro de la bóveda se localiza en la articulación metacarpofalángica: un desequilibrio muscular a este nivel puede llevar a ruptura de la curva. Los dos arcos longitudinales más importantes son el arco del dedo medio y el arco del índice. En sentido oblicuo, se forman los arcos de oposición del pulgar con los otros cuatro dedos, el más importante de estos arcos reúne y opone el pulgar al índice y el más extremo de los arcos de oposición pasa por el pulgar y el meñique (Figura No. 4).

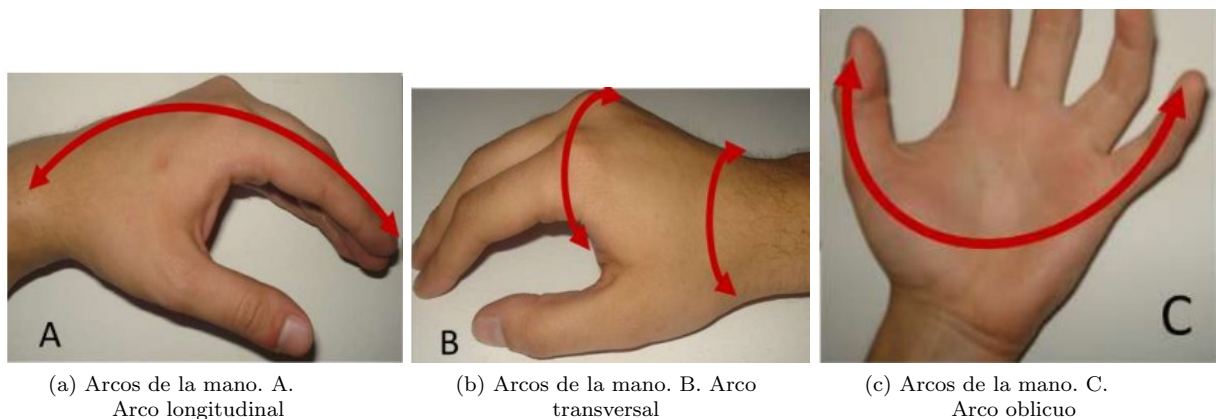


Figura 4: *Arco longitudinal, Arco transversal, Arco oblicuo*

Cuando hay separación voluntaria de los dedos, el eje de cada uno de ellos converge con la base de la eminencia tenar, en un punto que corresponde al tubérculo del escafoides. Los movimientos que se realizan en el plano frontal, es decir, la abducción y la aducción se realizan en relación al eje de la mano y no del cuerpo. Este eje de la mano está constituido por el tercer metacarpiano y el dedo medio; por esta razón, se habla de movimientos de separación y aproximación de los dedos. Durante estos movimientos el dedo medio permanece casi inmóvil. Cuando los dedos se aproximan de forma voluntaria unos a otros, los ejes de los dedos no son paralelos, sino que su proyección converge en un punto muy alejado localizado en el extremo distal más allá de la mano, esto tiene que ver con el calibre decreciente de los dedos desde la base hasta la punta (Figura No. 5. A). Además, cuando los dedos realizan movimientos de aproximación o separación, sus ejes tampoco convergen en un solo punto ya que existe un paralelismo de los dos últimos dedos y una divergencia entre los tres primeros (Figura No. 5. B).

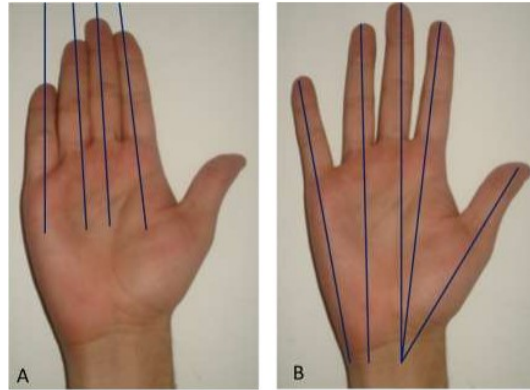


Figura 5: *Figura No. 5. Eje de los dedos en aproximación y en separación. A. En aproximación: el eje de los dedos no es paralelo; ellos convergen en un punto alejado. B En separación: existe un paralelismo de los dos últimos dedos, mientras los primeros convergen en un punto.*

Cuando se realiza un cierre de mano en puño recto (articulaciones interfalángicas en extensión) todas las falanges, exceptuando la distal del pulgar, convergen en un punto situado en la parte inferior del canal del pulso (Figura No. 6).

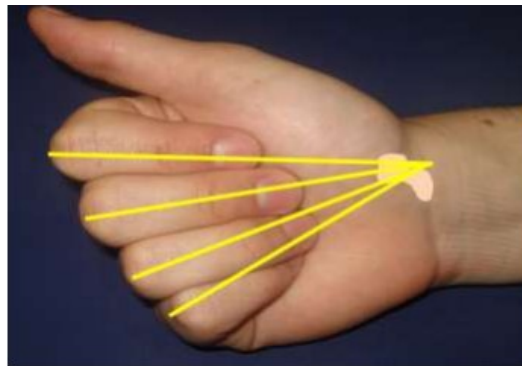


Figura 6: *Figura No. 6. Cierre de la mano en puño recto. Cuando las articulaciones interfalángicas están en extensión, el eje de los cuatro últimos dedos converge en un punto inferior al canal del pulso.*

Patrones Funcionales.

Esta compleja organización anatómica y funcional de la mano converge en la prensión. La función prensil de la mano depende de la integridad de la cadena cinética de huesos y articulaciones extendida desde la muñeca hasta las falanges distales. La interrupción en los sistemas de arcos transversales y longitudinales resulta en inestabilidad, deformidad y pérdida de función. Los patrones de función prensil son movimientos en los que se agarra un objeto y éste se mantiene en parte o de forma completa dentro de la superficie de la mano. La eficiencia de la función prensil depende de:

- La eficacia de la primera articulación carpometacarpiana y, en menor grado, de la cuarta y quinta MCF.
- La rigidez relativa de la segunda y tercera articulaciones carpometacarpianas.
- La estabilidad de los arcos longitudinales del pulgar de los otros dedos.
- El sinergismo y el antagonismo equilibrado entre los músculos extrínsecos e intrínsecos de la mano.
- La aferencia sensorial adecuada de las áreas de la mano
- Las precisas relaciones entre la longitud, movilidad y posición de cada hilera de dedos.

Napier (1956), clasificó los patrones funcionales en: agarres de fuerza y agarres de precisión.

Los agarres de fuerza

Son aquellos en los cuales los dedos están flexionados en las tres articulaciones, el objeto se encuentra entre los dedos y la palma, el pulgar se aduce y queda posicionado sobre la cara palmar del objeto, hay una ligera desviación cubital y se realiza una ligera dorsiflexión para aumentar la tensión de los tendones flexores (Figura No. 7).



Figura 7: *Figura No. 7. Clasificación de los patrones funcionales. Agarres de fuerza: Flexión de las interfalángicas, pulgar aducido, ligera desviación cubital y ligera dorsiflexión.*

Los agarres de precisión

Son aquellos utilizados para la manipulación de pequeños objetos entre el pulgar y las caras flexoras de los dedos, la muñeca se posiciona en dorsiflexión, los dedos permanecen semiflexionados y el pulgar se aduce y se opone. Los agarres de precisión se clasifican de acuerdo a las partes de las falanges utilizadas para soportar el objeto que se está manipulando, así: pinza terminal, pinza palmar, pinza lateral o de llave, pinza de pulpejo o cubital (Figura No. 8) [3].



Figura 8: *Figura No. 8. Clasificación de los patrones funcionales. Agarre de precisión: Muñeca en dorsiflexión, dedos semiflexionados, pulgar aducido y en oposición.*

Prótesis de mano derecha (Segunda versión)

Los Ingenieros Fernando Urgilés y John Calle junto a los estudiantes: Fernando Cajamarca, Jorge Matute (Ingeniería Mecánica), José Vargas y Fernando Yunga (Ingeniería Electrónica), miembros del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica GIIB-UPS desarrollaron la segunda versión de una prótesis de mano derecha en conjunto con un paciente que tiene amputación a nivel de muñeca. Esta prótesis fue elaborada con poliamida Nylon 66 y polipropileno para la mano y el socket respectivamente. El sistema electrónico se adaptó al espacio disponible y se integró en la palma de la mano. Además, se colocó un acople giratorio para conseguir un movimiento de la mano, independiente al socket, que puede girar 360 grados.

Esta prótesis tiene tres movimientos básicos: agarre cilíndrico, agarre palmar y agarre de pinza, básicos para la realización de tareas diarias. Se consideró en el diseño la antropometría de la mano izquierda del beneficiario de la prótesis, para conseguir una prótesis simétrica y se fabricó utilizando impresión 3D por adición de capas, logrando finalmente un producto de excelente acabado superficial. La prótesis es totalmente funcional y la ergonomía del socket permite adquirir señales desde el muñón del paciente para el control de la prótesis.

Este proyecto es una innovación que ha partido de una necesidad real y con el apoyo de un equipo multidisciplinario, se ha conseguido integrar esta prótesis con el paciente. El GIIB-UPS apunta a seguir trabajando por el bienestar de la sociedad de la mano de la ciencia y la tecnología [2].

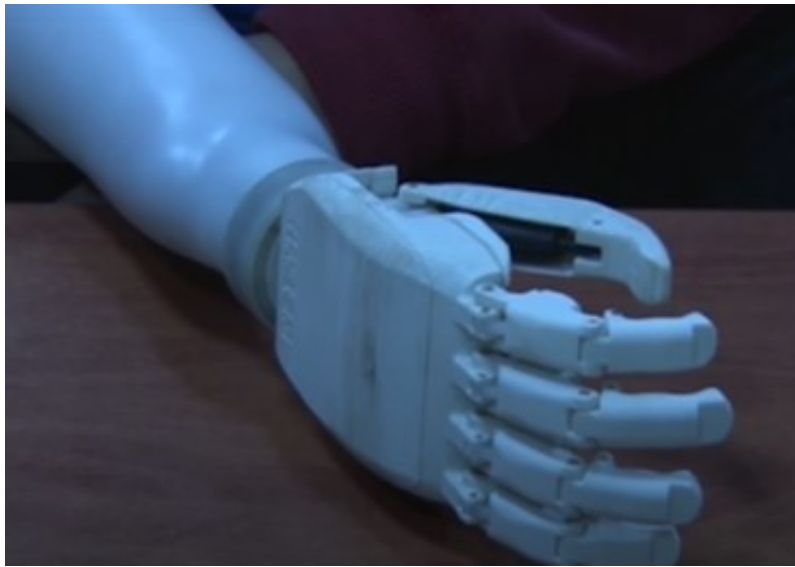


Figura 9: *Figura No. 9. Prótesis de mano derecha GIIB-UPS v2*

3. Conclusiones

En conclusión, la mano es el “instrumento de los instrumentos” citando a Aristóteles y tal como lo expresa Kapandji: “La mano es la extensión del cerebro”.

Una vez leída la anatomía y la kinesología de la mano pudimos entender la versatilidad instantánea con la que está dotada la compleja estructura de la mano. Compuesta por ventisiete huesos, más de veinte articulaciones y más de treinta músculos, esto hace que en un área tan pequeña converjan tejidos blandos y duros al mismo tiempo, explicando el gran compromiso funcional ante lesiones traumáticas de este órgano.

Referencias

- [1] Luz Amparo. Biomecánica y patrones funcionales de la mano, Enero 2012.
- [2] Fernando Cajamarca. Prótesis biomecánica de mano derecha v.2, Mayo 2016.
- [3] Charles Cooper. Fundamental of hand therapy, Junio 2007.